

УДОСКОНАЛЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ПУСКОВОГО МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

О.М.Васілевський, канд.техн.наук
Міністерство освіти і науки України,
пр. Перемоги, 10, Київ, 01135, Україна,

e-mail: wasilevskiy@mail.ru

Набув подальшого розвитку математичний апарат, яким описуються вимірювальні операції, що відбуваються у засобі вимірювання пускового моменту електродвигунів. Удосконалена математична модель дозволяє підвищити точність вимірювання пускового моменту та досліджувати динамічні і статичні метрологічні характеристики засобу вимірювання пускового моменту електродвигунів. Бібл. 10, рис. 5.

Ключові слова: засіб вимірювання, пусковий момент, удосконалена математична модель, ковзання, характеристика асинхронного електродвигуна.

Вступ. На сьогодні розробка нових та удосконалення існуючих методів і засобів вимірювання (ЗВ) пускового моменту, а також їхнього метрологічного забезпечення є актуальною науковою проблемою під час випробувань електродвигунів у режимі короткого замикання. Вирішення цієї проблеми дозволить забезпечити єдність вимірювань, підвищити точність та конкурентноспроможність вітчизняної продукції на світовому ринку.

В залежності від способу вимірювання пускового моменту виділяють такі підгрупи засобів вимірювань: за реакцією статора приводного електродвигуна (ЕД), за реакцією статора випробовуваного ЕД, за реакцією ротора випробовуваного ЕД. З літературних джерел [1–3, 6, 7] відомо, що найперспективнішими для мікропроцесорної реалізації є засоби вимірювання, що будуються на основі реакції статора приводного ЕД, до якого під'єднується за допомогою муфти спряження ЕД, що випробовується, оскільки інші способи реалізації засобів вимірювання пускового моменту потребують додаткового налаштування (внесення в їхню структуру додаткових вимірювальних перетворювачів) випробовуваних ЕД (ВЕД). Це незручно і потребує значних витрат часу на налаштування і випробування одного ЕД. Архітектура побудови і потенційні функціональні можливості засобу вимірювання пускового моменту, що будується на основі реакції статора приводного ЕД, дозволяють вимірювати не тільки залежності пускового моменту від кута повороту, але й залежності динамічного моменту від кутової швидкості, залежності зміни моменту інерції та електромагнітного моменту [2–4,7].

Однак існуючі методи вимірювання пускового моменту не враховують вимірювальні операції перетворення вимірювальним важелем і сенсором зусилля, що є причиною суттєвих розбіжностей між відомими теоретичними підходами (математичним апаратом) та експериментальними даними. Тому виникає необхідність в удосконаленні існуючих математичних моделей, якими описуються вимірювальні операції, що виконуються засобом вимірювання пускового моменту ЕД для підвищення точності та забезпечення єдності вимірювань, що і є метою данної статті.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Засіб вимірювання пускового моменту, що побудований на основі реакції статора приводного ЕД, найчастіше використовується під час випробувань ЕД на коротке замикання [5–10]. Він складається з муфти спряження (МС), приводного ЕД (ПЕД), сенсора зусилля (СЗ), сенсора кута повороту (СКП) та вторинного засобу вимірювання (ВЗВ). Структурна схема засобу вимірювання пускового моменту показана на рис. 1. Приводний ЕД починає обертати через муфту спряження ротор випробовуваного ЕД (ВЕД) з ковзанням ($S=0,96-0,98$). Пусковий момент, що розвиває ВЕД, передається від його ротора за допомогою МС до ротора ПЕД, потім на його статор і через вимірювальний важіль на сенсор зусилля. На роботу засобу вимірювання пускового моменту впливають такі дисипативні сили: сила тертя в підшипниках ПЕД та ВЕД; сили внутрішнього тертя, що зумовлені неідеальною жорсткістю МС; сили тертя від повітря обертового ротора ВЕД і ПЕД. Названі дисипативні сили створюють додатковий момент опору M_0 і таким чином вносять систематичну похибку в результати вимірювання пускового моменту M_p .

Крім цього, приводний ЕД створює нерівномірний гальмівний момент, що зумовлений такими причинами: нерівномірністю гальмівного моменту від взаємодії зубців ротора із полюсами статора та нерівномірністю гальмівного моменту за рахунок відхилень напруги та частоти мережі живлення загального призначення від номінальних значень. Таким чином, дисипативні сили та нерівномірність гальмового моменту є основними складовими похибки наведеного засобу вимірювання.

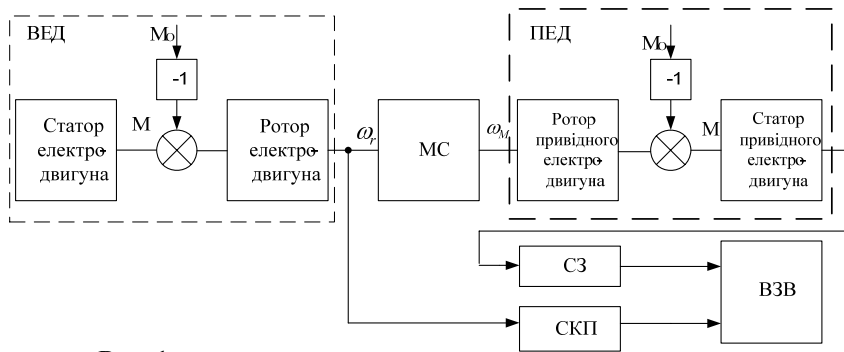


Рис. 1

Суть методу вимірювання пускового моменту полягає у тому, що ПЕД із невеликою наперед заданою швидкістю обертає ротор ВЕД і одночасно вимірюється момент на його роторі та кутове положення ротора протягом одного повного оберту ротора ВЕД. Швидкість обертання ротора ВЕД має бути такою, щоб відтворити умови короткого замикання ($S \approx 1$), але щоб за час

вимірювання пускового моменту в залежності від кутового положення температура обмоток статора ВЕД не перевищила розрахункове робоче значення. Для реалізації такого методу вимірювання необхідно мати жорстку основу, ПЕД, вихідний вал якого встановлено на підшипниках, сенсор зусилля, що встановлений на основі ПЕД і з'єднаний із його статором вимірювальним важелем, частотний регулятор для ПЕД, мікроконтролер та пристрій відображення.

Після запуску засобу вимірювання пускового моменту ПЕД обертає через муфту спряження ротор ВЕД. В результаті повний момент $M_{\text{пов}}$ передається від ротора ВЕД на муфту спряження і на корпус ПЕД. При цьому на сенсор зусилля через вимірювальний важіль діє сила Q_i , що прямо пропорційна повному моменту $M_{\text{пов}}$. Напряга U_i на виході сенсора зусилля, яка пропорційна силі Q_i , через аналого-цифровий перетворювач мікроконтролера записується в оперативну пам'ять. Після завершення одного повного оберту ПЕД і ВЕД знеструмлюються, а в оперативній пам'яті мікроконтролера формується масив вимірних значень сили Q_i . Причому адреса масиву вимірних значень упорядкована за кутовим положенням ротора. Після цього визначається масив результатів пускового моменту за формулою

$$M_{\text{п}} = Q_i g l, \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння ($9,8 \text{ м/с}^2$); l – довжина вимірювального важеля.

В основу побудови засобів вимірювання пускових моментів покладено математичну модель, яка має вигляд [1, 5, 6, 8, 9]

$$\begin{cases} dI_{r\alpha}(t)/dt = k(L_m(-U_{s\alpha}(t) + R_s I_{s\alpha}(t)) - L_s(R_r I_{r\alpha}(t) + n_r(t)(L_r I_{r\beta}(t) + L_m I_{s\beta}(t))))); \\ dI_{r\beta}(t)/dt = k(L_m(-U_{s\beta}(t) + R_s I_{s\beta}(t)) - L_s(R_r I_{r\beta}(t) - n_r(t)(L_r I_{r\alpha}(t) + L_m I_{s\alpha}(t))))); \\ dI_{s\alpha}(t)/dt = k(L_r(U_{s\alpha}(t) - R_s I_{s\alpha}(t)) + L_m(R_r I_{r\alpha}(t) + n_r(t)(L_r I_{r\beta}(t) + L_m I_{s\beta}(t))))); \\ dI_{s\beta}(t)/dt = k(L_r(U_{s\beta}(t) - R_s I_{s\beta}(t)) + L_m(R_r I_{r\beta}(t) - n_r(t)(L_r I_{r\alpha}(t) + L_m I_{s\alpha}(t))))); \\ d\omega_r(t)/dt = pJ^{-1}(M_{EM}(t) - M_p(t)); & k = (L_r L_s - L_m^2)^{-1}; \\ M_p(t) = (M_{II}(t) - M_{MC}(t)) / i\eta; & J = J_{ПЕД} + (J_{OB} + J_{MC}) i^{-2}; \\ M_y(t) = M_{EM}(t) + M_{II}(t) - M_{MC}(t); & M_{MC}(t) = -e \cos(\Omega t); \\ M_{II}(t) = KU^2 + a \sin(\omega_1 t) + b \cos(\omega_1 t); & K = pmRl(2\pi f)^{-1} [(R1 + R2)^2 + (X1 + X2)^2]^{-1}, \end{cases} \quad (2)$$

де $M_{EM}(t)$ – електромагнітний момент ВЕД; $M_p(t)$ – момент на виході хвильового редуктора; $M_{MC}(t)$ – момент ексцентриситету муфти спряження; $M_{II}(t)$ – пусковий момент ВЕД; $M_y(t)$ – момент на корпусі ПЕД.

Математична модель (2) відтворює тільки фізичні процеси перетворення пускового моменту через муфту спряження, хвильовий редуктор та асинхронний ПЕД. Вона не враховує вимірювальну операцію перетворення пускового моменту $M_y(t)$ вимірювальним важелем і сенсором зусилля. Дана обставина суттєво впливає на кінцеві метрологічні характеристики засобу вимірювання пускового моменту. Тому виникає необхідність розробки більш універсальної (удосконаленої) математичної моделі для врахування зазначених операцій, які дозволять підвищити точність вимірювання пускового моменту.

Диференціальне рівняння, що описує процес руху рухомої частини ВЕД, балансірно встановленого ПЕД, вимірювального важеля і сенсора зусилля для періодичного вхідного сигналу, має вигляд [2, 3]

$$Jd^2j(t)/dt^2 + Pdj(t)/dt + Cj(t) = KU^2 + a \sin(\omega_1 t) + b \cos(\omega_1 t), \quad (3)$$

де J – момент інерції; C – жорсткість сенсора зусилля; P – коефіцієнт заспокоєння; ω_1 – кругова частота поля статора ЕМ; $\omega = \sqrt{C/J}$ – власна частота вільних коливань вимірювального перетворювача; $\nu = P/(2\sqrt{JC})$ – ступінь заспокоєння вільних коливань.

Розв'язавши диференційне рівняння (3), отримаємо

$$j(t) = e^{-\nu\omega t} \left[C_1 \cos(\omega t \sqrt{1-\nu^2}) + C_2 \sin(\omega t \sqrt{1-\nu^2}) \right] + M_{EM}(t) J^{-1} \omega^{-2} + [A \sin(\omega_1 t) + B \cos(\omega_1 t)], \quad (4)$$

де $C_1 = -M_{EM} J^{-1} \omega^{-2} - B$; $C_2 = (-M_{EM} J^{-1} \omega^{-2} - B) \nu \omega - A \omega_1$; $A = [2b\nu\omega\omega_1 - a(\omega^2 - \omega_1^2)] J^{-1} [(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + (2\nu\omega\omega_1)^2]^{-1}$; $B = [b(\omega^2 - \omega_1^2) - 2a\nu\omega\omega_1] J^{-1} [(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + (2\nu\omega\omega_1)^2]^{-1}$.

Оскільки як сенсор зусилля використовується тензорезистивний сенсор, то за рахунок пружних властивостей його мембрани створюється протидійний момент переміщенню вимірювального важеля. В результаті цього протидійний момент $M_y(t)$ перетворюється у кут повороту φ . Тому з урахуванням останнього рівняння системи (2) рівняння (4) можна представити у вигляді

$$M(t) = K_1 \left\{ e^{-\nu\omega t} \left[C_1 \cos(\omega t \sqrt{1-\nu^2}) + C_2 \sin(\omega t \sqrt{1-\nu^2}) \right] + M_{EM}(t) J^{-1} \omega^{-2} + [A \sin(\omega_1 t) + B \cos(\omega_1 t)] \right\}, \quad (5)$$

де $K_1 = l e r^4 / (\xi g h)$ – постійна тензоперетворювача.

На рис. 2 показано результати моделювання операції вимірювального перетворення пускового моменту у вихідний сигнал засобу вимірювання на основі відомої моделі, якою описується вихідний

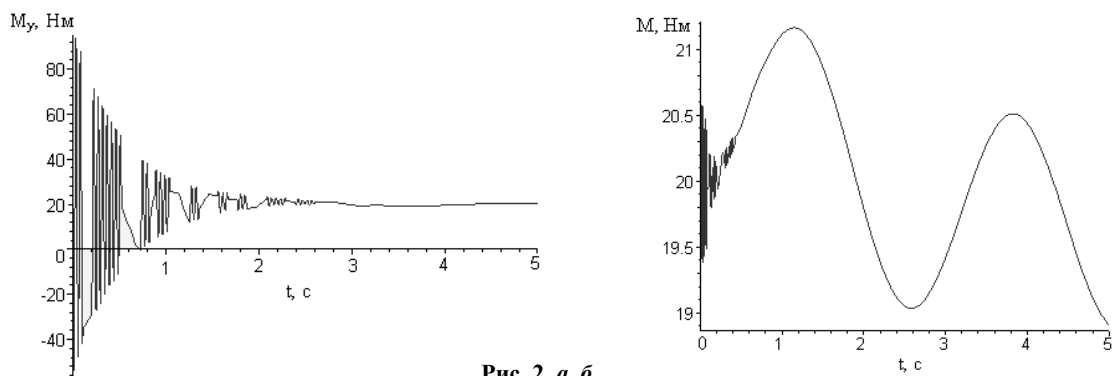


Рис. 2, а, б

момент $M_y(t)$ у системі рівнянь (2) (рис. 2, а) та удосконаленої моделі, що враховує додатково вимірювальні операції, що виконуються вимірювальним важелем та сенсором зусилля $M(t)$ (рис. 2, б) при номінальних параметрах ВЕД типу 4А80А4.

З рис. 2, а видно, що неврахування операцій вимірювального перетворення вимірювальним важелем і сенсором зусилля призводить до збільшення часу перехідного процесу і амплітуди вимірюваного моменту протягом цього часу, яка набуває значень у 3–4 рази більших за ідеалізовані (теоретичні) значення, що може призвести до виходу з ладу сенсора зусилля, якщо не враховувати таку поведінку засобу вимірювання на початку перехідного процесу. Тому вимірювальна інформація, що отримується за допомогою відомої математичної моделі на початку перехідного процесу, не є інформативною і нею, як правило, нехтують. Після завершення перехідного процесу (рис. 2) діапазон зміни амплітуди моментів є однаковим (від 19 до 22 Нм). Удосконалена математична модель не має зазначених вище недоліків. Однак, недоліком нелінійних моделей є складність процесу моделювання з використанням чисельних методів розв'язку жорстких систем нелінійних диференціальних рівнянь та неможливість отримання в аналітичному вигляді основних динамічних і статичних метрологічних характеристик. Тому виникає необхідність у розробці удосконаленої лінеаризованої математичної моделі для засобу вимірювання пускового моменту ЕД.

Нелінійним елементом у математичних моделях (3) і (5) є приводний асинхронний ЕД, що через редуктор повільно обертає ротор ВЕД, і тим самим практично виконується умова короткого замикання ($S \approx 1$). При цьому кутова швидкість ротора приводного асинхронного ЕД близька до номінальної $S \leq 0,15$. Тобто приводний асинхронний ЕД під час вимірювань пускового моменту працює на лі-

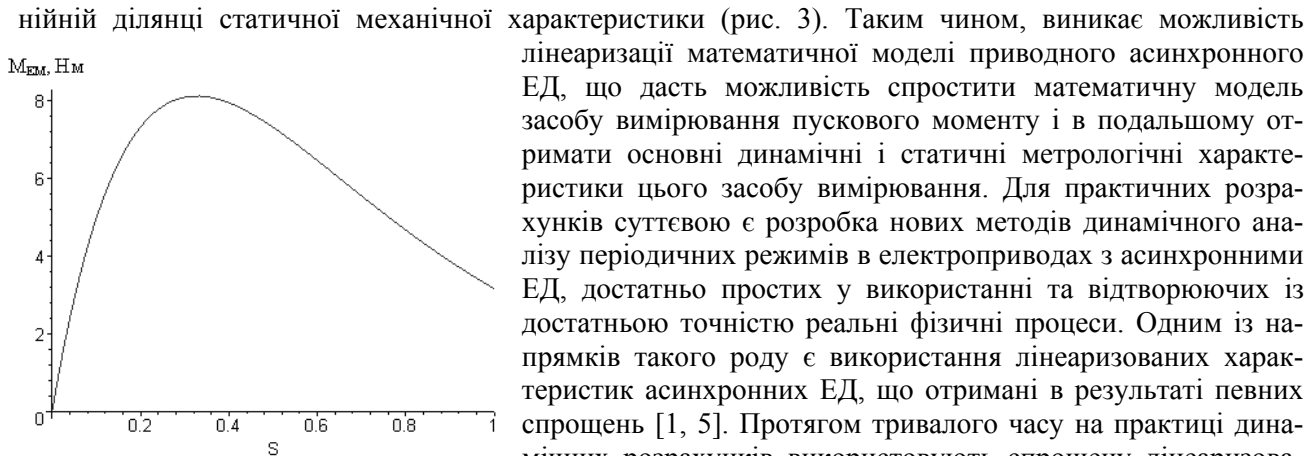


Рис. 3

нійній ділянці статичної механічної характеристики (рис. 3). Таким чином, виникає можливість лінеаризації математичної моделі приводного асинхронного ЕД, що дасть можливість спростити математичну модель засобу вимірювання пускового моменту і в подальшому отримати основні динамічні і статичні метрологічні характеристики цього засобу вимірювання. Для практичних розрахунків суттєвою є розробка нових методів динамічного аналізу періодичних режимів в електроприводах з асинхронними ЕД, достатньо простих у використанні та відтворюючих із достатньою точністю реальні фізичні процеси. Одним із напрямків такого роду є використання лінеаризованих характеристик асинхронних ЕД, що отримані в результаті певних спрощень [1, 5]. Протягом тривалого часу на практиці динамічних розрахунків використовують спрощену лінеаризовану характеристику асинхронного ЕД у вигляді [1, 5, 9]

$$(T_{EM} dM_{EM}(t)/dt + M_{EM}(t))\gamma_0 = S, \quad (6)$$

де M_{EM} – електромагнітний обертальний момент асинхронного ЕД; $T_{EM} = (\omega_c S_K)^{-1}$ – електромагнітна стала часу; $\gamma_0 = S_K (2M_K)^{-1}$ – коефіцієнт крутизни статичної характеристики; $S = 1 - \omega_r/\omega_c$ – ковзання; ω_r – частота обертання ротора; $\omega_c = 2\pi f_c$ – частота обертання поля статора; S_K, M_K – критичні значення ковзання та обертального моменту.

Аналіз результатів досліджень показує, що розрахунки, виконані з використанням спрощеної характеристики (6), дають задовільні за точністю результати при виконанні умови, що середнє значення ковзання $S_1^0 < 0,08 \div 0,1$. Для $S_1^0 > 0,1$ похибки при визначенні динамічних навантажень для оцінки нерівномірності ходу асинхронного електроприводу стають значними. Тому виникає необхідність отримання динамічної характеристики з вищою точністю, що вільна від зазначеного обмеження.

Рівняння динамічної характеристики асинхронного ЕД з підвищеною точністю після виконання відповідних перетворень, зазначених у [1, 5], можна записати у вигляді

$$(1 + S^2 S_K^2) M_{EM} + 2T_{EM} dM_{EM}/dt + T_{EM}^2 d^2 M_{EM}/dt^2 - T_{EM} S^{-1} (dS/dt) M_{EM} - T_{EM}^2 S^{-1} (dS/dt) dM_{EM}/dt = 2M_K S/S_K. \quad (7)$$

Проте рівняння (7) має суттєву нелінійність. Тому його розв'язок можливо отримати тільки наближеними чисельними або чисельно-аналітичними методами. Під час розв'язку вимірювальних задач, пов'язаних з коливаннями моменту асинхронного ЕД відносно деякого стаціонарного значення за умови, що забезпечена динамічна стійкість двигуна, можна використовувати лінеаризовану динамічну характеристику асинхронного ЕД. Позначивши через S_1^0 середнє значення ковзання ЕД у періодичному режимі роботи за статичною характеристикою та використавши розклад рівняння (7) у ряд при збереженні строгого порядку диференціювання, запишемо динамічну характеристику асинхронного ЕД у вигляді [1, 5]

$$(1 + \varepsilon_o^2) M_{EM} + 2T_{EM} dM_{EM}/dt + T_{EM}^2 d^2 M_{EM}/dt^2 = \gamma_o^{-1} (1 + \varepsilon_o^2)^{-1} ((1 - \varepsilon_o^2) S + T_{EM} dS/dt), \quad (8)$$

де $\varepsilon_o = S_1^0/S_K$ – безрозмірний параметр.

Тоді динамічну характеристику асинхронного ЕД, лінеаризовану в околиці S_1^0 , запишемо у вигляді

$$(T_{EM} T_e d^2 M_{EM}(t)/dt^2 + 2T_{EM} dM_{EM}(t)/dt + M_{EM}(t))\gamma = T_s dS/dt + S, \quad (9)$$

де $\gamma = \gamma_o (1 + \varepsilon_o^2)^2 / (1 - \varepsilon_o^2)$ – коефіцієнт крутизни статичної характеристики для заданого параметра ε_o ;

T_e, T_s – постійні часу при тому ж самому значенні параметра ε_o : $T_e = T_{EM} / (1 + \varepsilon_o^2)$; $T_s = T_{EM} / (1 - \varepsilon_o^2)$;

S_1^0 – середнє значення ковзання за статичною характеристикою.

Розв'язок рівняння (9) має вигляд

$$M_{EM}(t) = (T_s p M_p(t) + S \omega_r J) \left\{ (\gamma \omega_r J + T_s p)^{-1} \left[1 - \left(\cos(Ft) + (T_e \sqrt{F})^{-1} \cdot \sin(Ft) \right) \exp(-t/T_{EM}) \right] \right\}, \quad (10)$$

де $F = -(-T_e \gamma \omega_r J - T_e T_s p + \gamma T_{EM} \omega_r J) (\gamma T_{EM} T_e^2 \omega_r J)^{-1}$.

Рівняння (10) відтворює фізичні процеси в більш широкому лінійному діапазоні зміни ковзання $0 < S \leq 0,25$, ніж спрощена математична модель (6), тому доцільно застосувати саме його.

Таким чином, запропоновано удосконалену математичну модель засобу вимірювання пускового моменту, яка отримується із відомої моделі (2), де нелінійна модель приводного асинхронного ЕД замінена лінеаризованою (10), а також в математичній моделі додатково враховані вимірювальні операції, що виконуються вимірювальним важелем та сенсором зусилля (5). Ця удосконалена математична модель описується системою

$$\begin{aligned} M_{EM}(t) &= (T_s p M_p(t) + S \omega_r J) \left\{ (\gamma \omega_r J + T_s p)^{-1} \left[1 - \left(\cos(Ft) + (T_e \sqrt{F})^{-1} \sin(Ft) \right) \exp(-t/T_{EM}) \right] \right\}; \\ M(t) &= K_1 \left\{ e^{-\nu \omega t} \left[C_1 \cos(\omega \sqrt{1-\nu^2} t) + C_2 \sin(\omega \sqrt{1-\nu^2} t) \right] + M_{EM}(t) J^{-1} \omega^{-2} + [A \sin(\omega_1 t) + B \cos(\omega_1 t)] \right\}; \\ M_p(t) &= (M_{\Pi}(t) - M_{EM}(t)) (i\eta)^{-1}; & J &= J_{ПЕД} + (J_{OB} + J_{MC}) i^{-2}; \\ M_y(t) &= M(t) + M_{\Pi}(t) - M_{MC}(t); & M_{MC}(t) &= -e \cos(\Omega t); \\ M_{\Pi}(t) &= K U^2 + a \sin(\omega_1 t) + b \cos(\omega_1 t); & K &= pm R_1 \left[2\pi f \left((R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2 \right) \right]^{-1}. \end{aligned} \quad (11)$$

Результати моделювання процесу вимірювального перетворення вхідного (а) і вихідного (б) пускових моментів за допомогою удосконаленої математичної моделі (11) при дії на вході змінного пускового моменту $M_{\Pi}(t)$ показано на рис. 4.

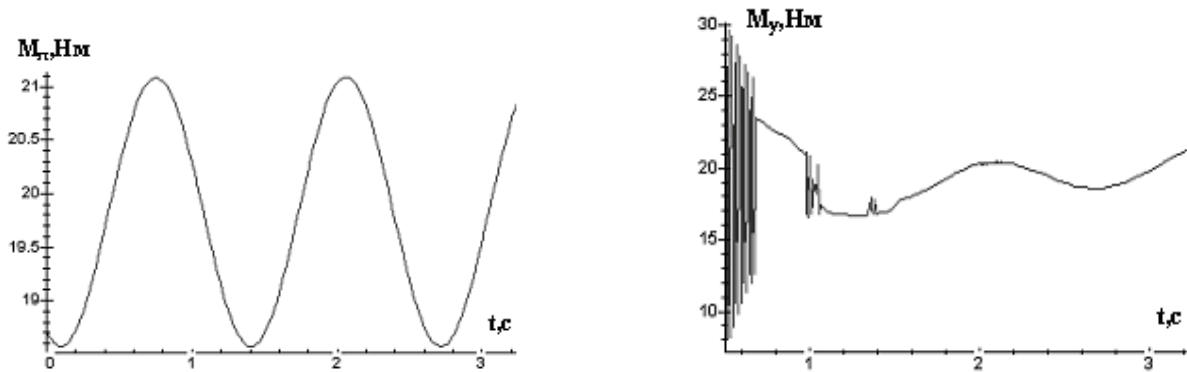


Рис. 4, а, б

Оцінимо методичну похибку, що виникає між вхідним ідеалізованим (теоретичним) значенням пускового моменту $M_{\Pi}(t)$ і вихідним сигналом $M_y(t)$ засобу вимірювання пускового моменту, що описується удосконаленою математичною моделлю (11) за формулою

$$\delta_m(t) = (M_y(t) / M_{\Pi}(t) - 1) 100\%. \quad (12)$$

Зміни відносної методичної похибки, що описується рівнянням (12), наведено на рис. 5.

Отже, розроблена удосконалена математична модель засобу вимірювання пускового моменту ЕД дозволяє адекватно відтворювати вимірювальні операції, що протікають під час вимірювання пускового моменту за реакцією статора приводного ЕД, а також стає можливим дослідження основних динамічних та статичних метрологічних характеристик цього засобу вимірювання.

Висновки. В результаті запропонованого способу лінеаризації механічної характеристики на лінійній ділянці зміни ковзання та врахування у відомій математичній моделі рівнянь, якими описуються вимірювальні операції, що виконуються за допомогою вимірювального важеля і сенсора зусилля, розроблено удосконалену математичну модель засобу вимірювання пускового моменту ЕД, яка дозволяє підвищити точність вимірювання та виконувати оцінювання динамічних і статичних метрологічних характеристик. Представлена характеристика зміни відносної методичної похибки, що виникає в результаті відхилення ідеалізованої моделі зміни вимірюваного пускового моменту від удосконаленої математичної моделі, якою описуються фізичні процеси, що протікають у засобі вимірювання пускового моменту, показує, що на початку перехідного процесу похибка складає 30–50%, а після його завершення

не перевищує 8%. Таким чином, можна зробити висновок про те, що після завершення перехідного процесу розроблена удосконалена математична модель засобу вимірювання пускового моменту з достатньою точністю відображає запропоновані теоретичні твердження та може використовуватися для дослідження основних динамічних і статичних метрологічних характеристик.

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 329 с.
2. Василевський О.М. Засіб вимірювання динамічного моменту електромоторів та аналіз його точності // Вимірвальна техніка та метрологія. – 2012. – № 73. – С. 52–56.
3. Василевський О.М. Динамічна чутливість засобу вимірювання пускового моменту електромоторів // Вісник інженерної академії України. – 2012. – № 3–4. – С. 95–97.
4. Василевський О.М., Поджаренко А.В. Оцінювання невизначеності вимірювання моменту інерції ротора за амплітудою крутильних коливань // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 4. – С. 5–9.
5. Вейц В.Л. Динамика машинных агрегатов. – Л.: Машиностроение, 1969. – 370 с.
6. Кухарчук В.В. Элементы теории контроля динамических параметров электрических машин. – Винница: «Универсум-Винница», 1998. – 125 с.
7. Кучерук В.Ю., Наталич О.М., Василевський О.М. Розвиток частотних методів визначення моментних характеристик електричних машин // Вісник інженерної академії України. – 2007. – № 3–4. – С. 149–154.
8. Мушкетов Н.А., Швец Л.М. Прибор для измерения вращающих моментов электродвигателей малой мощности // Электротехника. – 1975. – № 8. – С. 42–44.
9. Пономаренко В.К., Швец Л.М. Вращающие моменты от высших гармоник магнитного поля в асинхронных трехфазных двигателях // Электротехника. – 1975. – № 3. – С. 38–41.
10. Шахтарина Е.И., Палей Л.Г., Жбырь С.И. Стандартизация измерений крутящего момента в машиностроении // Метрология. – 1988. – № 5. – С. 22–26.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПУСКОВОГО МОМЕНТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

А.Н. Василевский, канд. техн. наук

Министерство образования и науки Украины, пр. Победы, 10, Киев, 01135, Украина, e-mail: wasilevskiy@mail.ru

Получил дальнейшее развитие математический аппарат, которым описываются измерительные операции, протекающие в процессе измерения пускового момента электродвигателей. Усовершенствованная математическая модель позволяет повысить точность измерения пускового момента и исследовать динамические и статические метрологические характеристики средства измерения пускового момента электродвигателей. Библ. 10, рис. 5.

Ключевые слова: средство измерения, пусковой момент, усовершенствованная математическая модель, скольжение, характеристика асинхронного электродвигателя.

ADVANCED MATHEMATICAL MODEL OF MEASURING THE STARTING TORQUE MOTORS

О.М. Vasilevskiy

The Ministry of Education and Science of Ukraine, Peremohy pr., 10, Kyiv, 01135, Ukraine, e-mail: wasilevskiy@mail.ru

Was further developed metematchny apparatus that describes measuring operations taking place in the facility measuring starting torque motors. Advanced mathematical model to improve the accuracy of the starting torque and explore the dynamic and static metrological characteristics of measuring the starting torque motors. Found that the relative error methodical improved mathematical model measuring means does not exceed 8%, after the transition, as compared with an idealized (teoertichnim) value of the input (measured) signal indicating sufficient matching theoretical statements proposed mathematical model developed starting torque measuring means. References 10, figures 5.

Key words: means for measuring torque, improved mathematical model, sliding characteristics of the induction motor.

1. Basharin A.V., Novikov V.A., Sokolovskii G.G. Control of electrical drives. – Leningrad: Energoizdat, 1982. – 329 p. (Rus)
2. Vasilevskiy O.M. Means for measuring the dynamic torque electric motors and an analysis of its accuracy // Vymiriuvalna tekhnika ta metrologiia. – 2012. – № 73. – Pp. 52–56. (Ukr)
3. Vasilevskiy O.M. Dynamic sensitivity measuring the starting torque of electric motors // Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy. – 2012. – № 3–4. – Pp. 95–97. (Ukr)
4. Vasilevskiy O.M., Podzharenko A.V. Evaluation of the measurement uncertainty of moment of inertia of the rotor in the amplitude of torsional vibrations // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2009. – № 4. – Pp. 5–9. (Ukr)
5. Veits V.L. Dynamics of machine units. – Leningrad: Mashinostroenie, 1969. – 370 p. (Rus)
6. Kukharchuk V.V. Elements of the theory of control of dynamic parameters of electric cars. – Vinnytsia: «Universum-Vinnytsia», 1998. – 125 p. (Ukr)
7. Kucheruk V.Yu., Natalych O.M., Vasilevskiy O.M. The development of methods for the determination of frequency torque characteristics of electric cars // Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy. – 2007. – № 3–4. – Pp. 149–154. (Ukr)
8. Mushketov N.A., Shvets L.M. A device for measuring the torque of electric motors of low power // Elektrotekhnika. – 1975. – № 8. – Pp. 42–44. (Rus)
9. Ponomarenko V.K., Shvets L.M. Torques from the higher harmonics of the magnetic field in a three-phase asynchronous motors // Elektrotekhnika. – 1975. – № 3. – Pp. 38–41. (Rus)
10. Shakhhtarina E.I., Palei L.G., Zhbyr S.I. Standardization of measurement of torque in mechanical // Metrologiia. – 1988. – № 5. – Pp. 22–26. (Rus)

Надійшла 15.07.2013

Received 15.07.2013